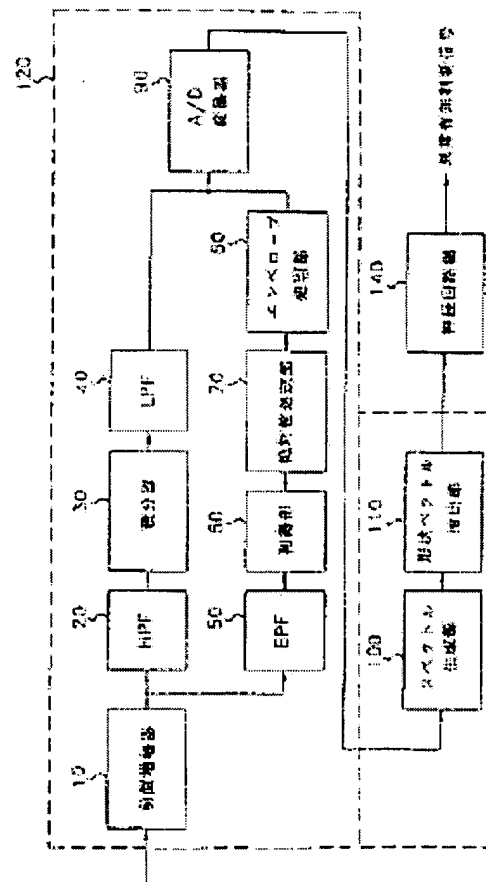


**Patent number:** JP8159928  
**Publication date:** 1996-06-21  
**Inventor:** NAN KOKI; RI YU  
**Applicant:** POSUKON:KK  
**Classification:**  
- international: G01M19/00; G01H17/00  
- european:  
**Application number:** JP19950171214  
**Priority number(s):**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To diagnose the presence or absence of abnormality of a rotating equipment without the help of a skilled expert by extracting a shape vector, and utilizing it to exercise the summation value of a neural network.

**SOLUTION:** A vibration signal processing part 120 receives the vibration signal of a rotating equipment from an acceleration sensor. The analog speed signal and acceleration signal after signal processing of the inputted vibration signal are converted into digital signals, and supplied to a spectrum generating part 100. The generating part 100 performs high speed Fourier transform to determine the power spectra of the speed signal and the acceleration signal. The shape vector extraction from the power spectra is executed by a shape vector extracting part 110. The shape vector determined from the vibration signal of the rotating equipment is used as the input of a neural network 140 in order to exercise the summation value of a reverse radio neural network. The shape vector extracted from the vibration signal is applied to the input of the network 140, whereby the abnormality of the rotating equipment can be diagnosed.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-159928

(43)公開日 平成8年(1996)6月21日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 M 19/00	A			
G 0 1 H 17/00	A			

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 12 頁)

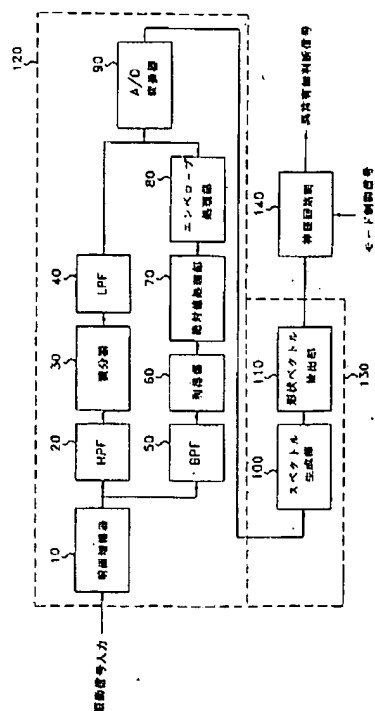
(21)出願番号	特願平7-171214	(71)出願人	595097081 株式会社ボスコン 大韓民国慶尚北道浦項市虎洞606番地
(22)出願日	平成7年(1995)7月6日	(72)発明者	南 光 熙 大韓民国慶尚北道浦項市孝子洞山31番地 教授アパート9棟303號
(31)優先権主張番号	3 2 4 7 5 / 1 9 9 4	(72)発明者	李 有 大韓民国慶尚北道浦項市昌浦洞645番地 昌浦住公アパート110棟304號
(32)優先日	1994年12月1日	(74)代理人	弁理士 伊東 忠彦 (外1名)
(33)優先権主張国	韓国 (K R)		

(54)【発明の名称】 神経回路網を利用した回転機器の異常有無診断装置およびその診断方法

(57)【要約】

【課題】 基準回転機器の異常振動の固有の特徴を有する振動パワースペクトルから形状ベクトルを抽出し、その抽出された形状ベクトルの固有特徴のパターンに神経回路網を訓練させた後、被測定回転機器の未知の信号を神経回路網に入力してその回転機器を異常有無を診断する装置および方法を提供する。

【解決手段】 回転機器の異常による振動時に発生する速度信号と加速度信号を検出し、前記検出されたアナログ速度および加速度信号をデジタル変換し、デジタル出力からスペクトルを生成し、前記生成されたスペクトルから形状ベクトルを抽出し、この抽出された形状ベクトルを利用して神経回路網の加重値を訓練させ、被測定回転機器の振動信号のスペクトルから抽出された形状ベクトルを入力され被測定回転機器の異常有無を判別する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基準回転機器の振動時に発生する振動信号から速度信号と加速度信号を検出する信号検出手段と、

前記検出されたアナログ速度および加速度信号をデジタル速度および加速度信号にそれぞれ変換するアナログ／デジタル変換手段と、

前記アナログ／デジタル変換手段のデジタル出力からスペクトルを生成するスペクトル生成手段と、

前記生成されたスペクトルから形状ベクトルを抽出する形状ベクトル抽出手段と、

前記抽出された形状ベクトルを利用して加重値を訓練させ、被測定回転機器の振動信号のスペクトルから抽出された形状ベクトルを入力され被測定回転機器の異常有無を判別する神経回路網部を含む被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項2】 前記信号検出手段は、前記振動信号を増幅する前置増幅器を有し、前記前置増幅器の後端に前記振動信号の低周波領域に該当する速度信号を処理する低周波信号処理部と、

前記前置増幅器の後端に前記低周波信号処理部と並列に接続され前記振動信号の高周波領域に該当する加速度信号を処理する高周波信号処理部を含むことを特徴とする請求項1に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項3】 前記低周波信号処理部は、

\*

$$D(k) = \sum_{j=0}^{N-1} w(j)c(j)e^{2\pi \frac{ijk}{n}}, k=0, \dots, N-1, i=\sqrt{-1}$$

$$w(j) = 1 - \left\{ \frac{j - 0.5(N-1)}{0.5(N+1)} \right\}^2 = \text{ウェルチウインド}$$

(ここで、Nは4096であり、 $c(j)$ 、 $0 \leq j \leq N$  ※より、 $-1$ はセグメントの時間領域データを示す。) 次の式に※

【数2】

$$P(0) = \frac{1}{W_{ss}} |D(0)|^2$$

$$P(k) = \frac{1}{W_{ss}} [|D(k)|^2 + |D(N-k)|^2]$$

$$(k=1, 2, \dots, N/2-1)$$

$$P\left(\frac{N}{2}\right) = \frac{1}{W_{ss}} \left[ |D\left(\frac{N}{2}\right)|^2 \right]$$

(ここで、 $W_{ss} = N \sum_{j=0}^N w(j)^2$  はウインド自乗和値を意味する。)

パワースペクトルの2セットを求め、その平均パワース 50 ベクトル

\* 前記前置増幅器の出力を受けて直流成分を遮断する高域通過フィルタと、

前記高域通過フィルタの出力を積分して速度信号を得る積分器と、

前記速度信号を受けて高周波成分によるエーリアシング効果を除去する低域通過フィルタとを含むことを特徴とする請求項2に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項4】 前記高周波信号処理部は、

10 前記前置増幅器の出力を受けて帯域通過フィルタリングする帯域通過フィルタと、

前記帯域通過フィルタの出力に所定の利得値を乗ずる利得部と、

前記利得部の出力を絶対値処理する絶対値処理部と、

前記絶対値処理部の出力を包絡線処理するエンベロープ処理部を含む請求項2に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項5】 前記スペクトル生成手段と前記形状ベクトル抽出手段は1つのマイクロプロセッサ内の所定のソフトウェアにより駆動されることを特徴とする請求項1に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項6】 前記スペクトル生成手段は、サンプルデータのセグメントをウェルチウインドで乗ずるために下記のようにFFTで周波数領域に変換された後、

【数1】

【数3】

$$P(0), P(1), \dots, P(2047)$$

を求めることを特徴とする請求項1に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項7】 前記形状ベクトル抽出手段はパワースペクトルに修正を加え抽出された形状ベクトルを正規化することを特徴とする請求項1に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項8】 前記神経回路網部は低周波診断の場合、4つの入力ノード、それぞれ6つのノードを有する2つの隠層および4つの出力ノードを含むことを特徴とする請求項7に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項9】 前記神経回路網部は高周波診断の場合、5つの入力ノード、それぞれ6つと5つのノードを有する2つの隠層および2つの出力ノードを含むことを特徴とする請求項7に記載の被測定回転機器の異常有無診断装置。

【請求項10】 回転機器の振動時に発生する振動信号の低周波帯域および高周波帯域による速度信号と加速度信号を処理する段階と、

前記速度および加速度信号のスペクトルを生成する段階と、

前記生成されたスペクトルを分析して形状ベクトルを抽出する段階と、

前記抽出された形状ベクトルを利用して神経回路網の加重値を訓練させる段階と、

被測定回転機器の振動信号のスペクトルから抽出された前記形状ベクトルを前記神経回路網に入力して被測定回転機器の異常有無を判別する段階とを含む被測定回転機器の異常有無診断方法。

【請求項11】 前記信号処理段階は前記振動信号を前置増幅する段階を有し、前記前置増幅段階後に前記振動信号の低周波領域に該当する速度信号を処理する低周波\*

\* 信号処理段階と、

前記前置増幅段階後に前記低周波信号処理段階と並列に遂行され前記振動信号の高周波領域に該当する加速度信号を処理する高周波信号処理段階とを含むことを特徴とする請求項10に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

【請求項12】 前記低周波信号処理段階は、

前記前置増幅段階の出力を受けて直流成分を遮断する高域通過フィルタリング段階と、

10 前記高域通過フィルタリング段階の出力を積分して速度信号を得る積分段階と、

前記積分段階から出力された速度信号を受けて高周波によるエーリアシング効果を除去する低域通過フィルタリング段階とを含むことを特徴とする請求項11に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

【請求項13】 前記高周波信号処理段階は、

前記前置増幅段階の出力を受けて帯域通過フィルタリングする帯域通過フィルタリング段階と、

前記帯域通過フィルタリング段階の出力に所定の利得値を乗ずる利得処理段階と、

前記利得処理段階の出力を絶対値処理する絶対値処理段階と、

前記絶対値処理段階の出力を包絡線処理するエンベロープ処理段階とを含むことを特徴とする請求項11に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

【請求項14】 前記スペクトル生成段階と前記形状ベクトル抽出段階は1つのマイクロプロセッサ内の所定のソフトウェアにより動作されることを特徴とする請求項10に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

30 【請求項15】 前記スペクトル生成段階は、サンプルデータのセグメントをウェルチウィンドで乗ずるために下記のようにFFTを使用して周波数領域に変換させた後、

【数4】

$$D(k) = \sum_{j=0}^{N-1} w(j)c(j)e^{2\pi \frac{ijk}{N}}, k=0, \dots, N-1, i=\sqrt{-1}$$

$$w(j) = 1 - \left\{ \frac{j - 0.5(N-1)}{0.5(N+1)} \right\}^2 = \text{ウェルチウィンド}$$

(ここで、Nは4096であり、 $c(j)$ 、 $0 \leq j \leq N-1$ はセグメントの時間領域データを示す。) 次の式に

より、

【数5】

5

6

$$P(0) = \frac{1}{W_{ss}} |D(0)|^2$$

$$P(k) = \frac{1}{W_{ss}} (|D(k)|^2 + |D(N-k)|^2)$$

$$(k=1, 2, \dots, N/2-1)$$

$$P\left(\frac{N}{2}\right) = \frac{1}{W_{ss}} \left[ |D\left(\frac{N}{2}\right)|^2 \right]$$

(ここで、 $W_{ss} = N \sum_{j=0}^N W(j)^2$  はウィンド自乗和値を意味する。)

パワースペクトルの2セットを求め、その平均パワースペクトル

【数6】

$$P(0), P(1), \dots, P(2047)$$

を求めることを特徴とする請求項10に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

【請求項16】 前記形状ベクトル抽出段階はパワースペクトルに修正を加え抽出された形状ベクトルを正規化することを特徴とする請求項10に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

【請求項17】 前記異常有無判別段階は低周波診断の場合、4つの入力ノード、それぞれ6つのノードを有する2つの隠匿層および4つの出力ノードを含む神経回路網を使用して出力ノードのベクトルを持って異常有無を判断し、高周波診断の場合、5つの入力ノード、それぞれ6つと5つのノードを有する2つの隠匿層および2つの出力ノードを含む神経回路網を用いて出力ノードのベクトルを持って異常有無を判断することを特徴とする請求項10に記載の被測定回転機器の異常有無診断方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は神経回路網を利用して回転機器に発生する各種の異常有無（軸非整列（axis misalignment）、シャフトベンディング（shaft bending）、ロータ偏心（rotor imbalance）、ハードウェア緩み（hardware loosening）、ギアおよびベアリング磨耗（gear/bearing wear））を診断する装置および方法に係り、特に回転機器の異常による振動信号から抽出された形状ベクトルを持って神経回路網を訓練させた後、被測定回転機器から抽出された形状ベクトルを入力して入力された形状ベクトルと学習された結果とを比較することにより、回転機器の異常有無を診断する装置および方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 一般に、回転機器の異常有無の診断には2つの方法がある（参照文献：逆電波神経回路網を利用した回転機器の診断（Diagnosis of Rotating Machines by Utilizing a Back Propagation Neural Network,”

20 by K. Nam and S. Lee, '92IECON Proceedings, pp.1064~1067））。1つの方法は振動の瞬時的なレベルを管理する。さらに精密な診断方法は振動の原因を周波数分析し、これは訓練された振動専門家によって行われる。

【0003】 前者の方法（簡易診断方法）では回転機器の振動信号が振動センサにより検出される。感知された振動信号は周波数帯域別にフィルタリング、積分、包絡線処理が行われる。また、振動信号は音や熱や他の検出可能な振動情報を測定する携帯用の振動測定装置によって検出される。結論的に振動の瞬時的なレベルに関連するデータは一定期間にわたって収集され整理され、回転機器の作動を制御するに用いられる。この場合、設備管理担当者は被測定回転機器の振動データを受けて振動データと制御データとを比べてその設備管理担当者の経験やISO振動規格により注意（caution）、危険（danger）レベルを設定する方式で管理する。

【0004】 後者の方法（精密診断方法）では前記簡易診断方法を通じたり人間の感覚で振動信号を収集した後、回転機器の異常振動に対して教育を受けた専門家が振動信号検出時に回転速度とベアリング情報を分析する低周波スペクトル分析器で異常原因を捜す。前記のような既存の回転機器の異常有無の診断方法は異常現象判断時に専門家の主観的な経験に依存する。すなわち、各ケースに熟練された専門家は振動センサで受け入れた電気信号のスペクトルを見て異常振動の原因、異常の程度、部品の交替時期などを判断する。

【0005】 しかしながら、前記従来の診断方法は人間をして異常原因を判別する能力を持たせるように訓練させるのに多くのコストおよび時間がかかるだけでなく、人間の判断の任意性に応じて人によって判断結果が異なることがあり、工場の回転機器補修および管理に問題が

あり得る。すなわち、鉄鋼および化学プラントなどのように劣悪な環境に設けられている各種機器の場合は適当な補修時期を逸したり、異常原因を把握できなければ連続工程が中断するという大きな被害をもたらすことができる。これらの従来方法は専門家を養成するために長い時間とコストがかかるだけでなく、オペレータの主観に応じて異なる結果を招く。したがって、回転機器の補修管理に問題が発生する。適当な補修サイクルが要求される。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 前述した従来の問題点および短所を解決するために、本発明の目的は回転機器の振動に固有の特徴があることに基づいて形状ベクトルを抽出し、その抽出された形状ベクトルの固有特徴のパターンに神経回路網を訓練させ、被測定回転機器の異常有無を判断させることにより、別の訓練された専門家の助けなしに回転機器の異常有無を診断する装置を提供することにある。

【0007】 本発明の他の目的は、回転機器の異常による形状ベクトルをソフトウェアにより抽出して異常有無を判断することにより、診断精密度を高めることのできる回転機器の異常有無を判断する方法を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を達成するための手段】 前記目的を達成するために、本発明は基準回転機器の振動時に発生する振動信号から速度信号と加速度信号を検出する信号検出手段と、前記検出されたアナログ速度および加速度信号をデジタル速度および加速度信号にそれぞれ変換するアナログ／デジタル変換手段と、前記アナログ／デジタル変換手段のデジタル出力からスペクトルを生成するスペクトル生成手段と、前記生成されたスペクトルから形状ベクトルを抽出する形状ベクトル抽出手段と、前記抽出された形状ベクトルを利用して加重値を訓練させ、被測定回転機器の振動信号から抽出された形状ベクトルを入力され被測定回転機器の異常有無を判別する神経回路網手段とを含む被測定回転機器の異常有無診断装置を提供する。

【0009】 また、前記他の目的を達成するために、本発明は基準回転機器の振動時に発生する振動信号の低周波帯域および高周波帯域による速度信号と加速度信号を処理する段階と、前記速度および加速度信号のスペクトルを生成する段階と、前記生成されたスペクトルを分析して形状ベクトルを抽出する段階と、前記抽出された形状ベクトルを利用して神経回路網の加重値を訓練させる段階と、被測定回転機器の振動信号から抽出された形状ベクトルを入力された後、被測定回転機器の異常有無を判別する段階とを含む被測定回転機器の異常有無診断方法を提供する。

【0010】 基準回転機器の異常振動の固有の特徴を振

動パワースペクトルから抽出して形状ベクトルを抽出し、その抽出された形状ベクトルの固有特徴のパターンに神経回路網を訓練させた後、被測定回転機器の未知の信号を神経回路網に入力してその回転機器の異常有無を診断する。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】 以下、添付した図面に基づき本発明の実施例をより詳細に説明する。ロータ偏心、軸非整列、ベアリングおよびギアの磨耗および破損による振動は目で容易に把握されないが、人間の指紋のようなそれぞれの固有の特徴がある。回転機器の振動学的な側面から見ると、回転機器の振動周波数帯域に応じて機械の欠陥の種類を判断することができる。すなわち、本発明は回転機器の回転周波数を  $f_r$  とする時、 $0\text{ Hz}$  から  $5 f_r$  までの低周波帯域ではロータ偏心、軸非整列、軸曲げ、ハードウェア緩みなどが異常振動の原因であり、 $5 f_r$  から  $1\text{ KHz}$  までの中周波帯域ではギアの変形の異常振動の原因であり、高周波帯域 ( $1\text{ KHz}$  以上) ではベアリング磨耗が異常振動の主要原因である (ここで、回転周波数  $f_r$  は数千  $\text{rpm}$  程度の比較的に低い周波数であると仮定する)。本発明は回転器内に偏心があれば速度信号スペクトルにおいて  $f_r$  成分が非常に大きくなり、軸非整列があれば  $2 f_r$  成分が非常に大きくなり基礎ハードウェア緩みがあれば非線形力学によって  $f_r / 2$ 、 $f_r / 3$  成分が現れるという基本的な振動理論に基づいている。また、ベアリングを診断するにおいては加速度信号をそのまま利用するが、ベアリングに異常があればベアリングの構造によるリング周波数 (可聴周波数) がバンドパスフィルタリングされる。したがって、異常ベアリング分析時に振動信号を  $1\text{ KHz} \sim 10\text{ KHz}$  の帯域幅を有する帯域通過フィルタに通過させた後、その周波数付近の側波帯周波数の周波数成分を分析して内輪、外輪あるいはボールの磨耗や損傷を調べる。最後に、ギアの歯の異常は  $N f_r$  ( $N$ : ギアの歯の数) 付近の側波帯異常から判る。

【0012】 図1は本発明の一実施例による回転機器異常有無診断装置の概略的なブロック図である。本実施例は振動信号処理部120と振動信号からスペクトル生成後に形状ベクトルを抽出するベクトル抽出部130と神経回路網による回転機器の異常原因を判別する神経回路網処理部140とを備える。図1を参照すると、振動信号処理部120は圧電型の加速度センサ (図示せず) から回転機器の振動信号を受信する。ここで、圧電型の加速度センサはストレス変形に対して電荷の分布が変化する特性を利用して回転機器の異常振動を電気的な信号に変換する。前記加速度センサから出力された電気的な振動信号は振動信号処理部120内の前置増幅器10に入力され増幅される。

【0013】 以後の信号処理過程は振動周波数帯域に応じて異なる。ロータとギアの診断には加速度信号を積分

した速度信号を使用し、ベアリングの診断には加速度信号を使用する。前記信号処理過程は速度信号を利用する低周波信号処理過程と加速度信号を利用する高周波信号処理過程とに分けられる。低周波信号処理過程において、前記前置増幅器10の増幅信号は高域通過フィルタ20でフィルタリングされ直流成分が遮断され、高域通過フィルタ20の出力は積分器30で積分され速度信号に変換される。この積分器30の出力を低域通過フィルタ40で低域フィルタリングして高周波成分によるエリヤシング効果を除去する。高周波信号処理過程で前置増幅器10の出力を帯域通過フィルタ50で帯域通過フィルタリングし、利得部60で帯域通過フィルタリングされた出力を所定の利得値で乗じ、利得部60の出力を絶対値処理部70で絶対値処理し、前記絶対値処理部70の出力はエンベロープ処理部80で包絡線処理される。このように入力された振動信号の信号処理後のアナログ速度信号および加速度信号はA/D変換器90でデ\*

\*ィジタル信号に変換された後、ベクトル抽出部130内のスペクトル生成部100に供給される。このスペクトル生成部100は高速フーリエ変換(FFT:Fast Fourier Transform)を遂行してディジタル変換された速度信号および加速度信号のパワースペクトルを求める。

【0014】本実施例でロータおよびギアの診断に用いられるサンプリング周波数は1~2KHzであり、ベアリングの診断に用いられるサンプリング周波数は3KHzである。サンプリングデータパルス数は6144個であり、サンプルデータパルスは2つのセグメントに分けられる。各セグメントは4096個のデータパルスとなり、4096個のデータパルスを含む各セグメントをウェルチウィンドで乗ずるために下記のようにFFTを利用して周波数領域信号D(k)に変換させる。

【0015】

【数7】

$$D(k) = \sum_{j=0}^{N-1} w(j)c(j)e^{2\pi \frac{ijk}{N}}, k=0, \dots, N-1, i=\sqrt{-1}$$

$$w(j) = 1 - \left\{ \frac{j - 0.5(N-1)}{0.5(N+1)} \right\}^2 = \text{ウェルチウィンド}$$

【0016】ここで、Nは4096であり、c(j)、  
0 ≤ j ≤ N-1はセグメントの時間領域データを示す。  
また、パワースペクトルは次のように計算できる。 ※

※【0017】

【数8】

$$P(0) = \frac{1}{W_{ss}} |D(0)|^2$$

$$P(k) = \frac{1}{W_{ss}} (|D(k)|^2 + |D(N-k)|^2)$$

$$(k=1, 2, \dots, N/2-1)$$

$$P\left(\frac{N}{2}\right) = \frac{1}{W_{ss}} \left[ |D\left(\frac{N}{2}\right)|^2 \right]$$

(ここで、 $W_{ss} = N \sum_{j=0}^N w(j)^2$  はウィンド自乗和値を意味する。)

【0018】そして、パワースペクトルの2セットからその平均を求める。平均パワースペクトル

【0019】

【数9】

$$P(0), P(1), \dots, P(2047)$$

【0020】で表す。次に、図1においてパワースペクトルからの形状ベクトル抽出は形状ベクトル抽出部110で遂行される。この形状ベクトル抽出部110でパワースペクトルから形状ベクトル値を抽出する方法は本発

明の核心内容中の1つである。現場で用いられている様々な規模の回転機器の異常を精密に診断するために本発明では形状ベクトル値を抽出するのに次のような事項を考慮した。

【0021】第1に、一般に振動信号の大きさは回転機器の大きさや回転機器の回転周波数に応じて異なるようになる。例えば、偏心異常のある小さい回転機器の回転周波数エネルギーよりも正常動作を行っている大きい回転機器の回転周波数エネルギーがさらに大きくなることもある。すなわち、形状ベクトルを抽出する時は振動信

号から計算されたパワースペクトルの絶対的な量を利用してはならずパワースペクトル波形の相対的な形に注目しなければならない。

【0022】第2に、異常を表す特徴周波数のエネルギーのみを見て異常を診断すれば、異常のある場合と正常の場合とを区別することができなくなる。なぜならば、正常の回転機器の特徴周波数のエネルギー分布が、異常のある場合とレベルは異なるが、同様の形態を表すこともできるからである。このような問題点は次のように解決した。

【0023】第1の問題は抽出された形状ベクトルを正規化させることにより解決することができる。形状ベク\*

$$\text{inp}[i] = \frac{\sum_{j=f_{rc}(1-1/5)}^{f_{rc}(1+1/5)} P[j]}{f_{rc}(1+1/5) - f_{rc}(1-1/5)} \cdot \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi (i f_{rc} - j)}{f_{rc}/5} \right) \right]$$

where  $i = 1, 2, 3$

$$f_i = \frac{\text{inp}[i]}{\left( \sum_{j=1}^3 \text{inp}[j]^2 \right)^{1/2}}$$

where  $i = 1, 2, 3$

【0025】ここで、 $P_j$  は回転周波数  $f_r$  のパワースペクトルであり、 $f_i$  は入力形状ベクトルの  $i$  番目の成分であり、 $f_{rc}$  は回転周波数  $f_r$  をパワースペクトルのインデックスに変換したものである。すなわち、 $f_{rc} = 4096 (f_r / 1 \text{ KHz})$  である。第2の問題を解決するためにパワースペクトルに修正を加える。正常動作のパワースペクトルは非常に広いエネルギー分布を見

\*トルは基本周波数の倍数周波数  $f_r, 2f_r, 3f_r$  から求められ、それぞれの成分はそれぞれの倍数周波数で  $\pm f_r / 5$  の間にハニングウインド (Hanning Window) を被せて加えることにより求められる。しかしながら、これはパワースペクトルのレベルに影響されるため正規化されなければならない。すなわち、それぞれの成分を1と正規化することにより、最終的に形状ベクトルを形成することができる。これを次のように式で表すことができる。

10 【0024】

【数10】

※で相当大きくなる。これはパワースペクトルの平均と標準偏差  $DEV_{stand}$  とを比べることにより区別することができる。すなわち、異常のある際の標準偏差対平均の比は正常の際の値より大きくなる。パワースペクトルに修正を加えるためには先ずスレシールド値 ( $th$ : 閾値) を次のように求める。

30 【0026】

【数11】

$$th = \frac{\max}{1 + e^{S(DEV_{stand} / \text{mean} - k)}} \quad \dots \text{式(1)}$$

where,  $S$  (slope) = 3.0,  $k$  = 3.5

【0027】ここで、マックス (max) とミーン (mean) はそれぞれパワースペクトルの最大値と中間値であり、 $k$  は実験的に求められる値で2.5から4が適当であり、本実施例では3.5が最も適当した。もし、他の回転機器に適用するとすれば、他の適当な値に変えなければならない。こうように求めたスレシールド値を利用してパワースペクトルに次のように修正を加える。すなわち、 $P_i$  がスレシールド値  $th$  より小さければ  $P_i$  をスレシールド値と等しく設定する。ここで、 $i$  は0から2047までの整数である。

【0028】このようにすれば回転機器が正常に動作する場合はパワースペクトルの標準偏差と中間値の比が

3.5より小さくなりスレシールド値はほぼ最大値と等しくなり前記の演算を経るとパワースペクトルが平坦になる。このパワースペクトルから抽出した形状ベクトルも同様に平坦になるであろう。異常のある際は標準偏差対中間値の比が3.5より大きくなり式(1)によりスレシールド値はほぼ0となりパワースペクトルは特に影響されない。

【0029】回転機器が正常に動作する場合にパワースペクトルが平坦になり、そこから抽出した形状ベクトルもやはり平坦になる。これは図3に出ている。異常のある際はパワースペクトルがほぼ影響されずそこから抽出した形状ベクトルは異常の種類に応じて様々な形を表



す。図4はその一例の形状ベクトルが示されている。前記スペクトル生成部100と形状ベクトル抽出部110は1つのマイクロプロセッサが用いられて所定のソフトウェアにより動作されるようにすることができる。

【0030】図2は本発明の一実施例による回転機器の異常有無診断方法のフローチャートである。回転機器の異常振動を診断する時に異常の原因に応じて信号処理および神経回路網の構成を異にする必要がある。偏心、軸非整列、ハードウェア緩みなどのような低周波診断の場合は速度信号処理を利用するのが望ましい。ギアの場合は同様の信号処理方法を使用するが、歯の異常による振動波形は $Nf_i$  ( $N$ :歯の数、 $f_i$ :回転周波数)付近のサイドバンドで現れるために神経回路網の構成を異にするのが診断の効率を高めることのできる方法である。ベアリングの場合はリング周波数を搬送波とする通過周波数を引き出さなければならないために、加速度信号をそのまま利用し絶対値包絡線処理過程を経るようにする。外輪、内輪、ボール溝による振動周波数の差を見分けるために神経回路網の構成も低周波診断の場合と異にするのが望ましい。

【0031】図2を参照すれば、段階S2で本発明の回転機器の異常有無の診断装置に被測定回転機器の振動信号が入力された後、段階S4でベアリング診断するか否かをチェックする。段階S4でベアリング診断を所望とすると判定されれば、段階S6に進んで図1を参照して前述したように加速度信号処理、すなわち、高周波帯域で振動信号を処理する。次いで、段階S8で振動信号を所定のサンプリング周波数でサンプリングして段階S10でパワースペクトルを計算する。また、段階S12では前記計算されたパワースペクトルでベアリング診断形状ベクトルを計算する。次に、段階S14で前記計算された形状ベクトルは第1神経回路網に入力される。前記第1神経回路網に形状ベクトルが入力されれば、段階S16でモードをチェックして学習モードの場合は段階S18で学習を遂行し本プログラムをリターンし、学習モードでない場合は段階S20で入力される被測定回転機器の形状ベクトルを神経回路網により処理して段階S22でベアリングの正常、内輪異常、外輪異常、ボール異常などのような判定信号を出力しプログラムをリターンする。

【0032】段階S4で使用者がベアリング診断を所望としない場合、段階S24に進んで図1を参照して前述したような低周波帯域の速度信号処理を行う。次いで、段階S26で振動信号を所定のサンプリング周波数でサンプリングして段階S28でパワースペクトルを計算する。段階S30では段階S28で計算されたパワースペクトルがギア診断用であるか否かをチェックし、ギア診断用の場合は段階S34に進んでギア診断形状ベクトルを計算する。前記計算されたギア診断形状ベクトルは段階S38で第3神経回路網に入力される。前記第3神経

回路網に形状ベクトルが入力されれば、段階S42でモードをチェックして学習モードの場合は段階S48で学習を遂行し本プログラムをリターンし、学習モードでない場合は段階S50で入力される被測定回転機器の形状ベクトルを神経回路網により処理して段階S54で正常、ギアの歯の欠陥などのような判定信号を出力してプログラムをリターンする。

【0033】段階S30では段階S28で計算されたパワースペクトルがギア診断用でない場合、段階S32に進んでロータ診断形状ベクトルを計算する。段階S36において前記段階S32で計算されたロータ診断形状ベクトルが第2神経回路網に入力される。前記第2神経回路網に形状ベクトルが入力されれば、段階S40でモードをチェックして学習モードの場合は段階S44で学習を遂行し本プログラムをリターンし、学習モードでない場合は段階S46で入力される被測定回転機器の形状ベクトルを神経回路網により処理して段階S52で正常、偏心、軸非整列、ハードウェア緩みなどのような判定信号を出力してプログラムをリターンする。前述した本発明の回転機器の異常有無の診断方法は装置内に内蔵されたマイコン内のソフトウェアにより動作されるものであって、その詳細なソフトウェアについては使用者の診断水準に応じて適切に変形可能なので、詳細な説明は略することにする。

【0034】神経回路網は文字認識あるいは形状認識において非常に成功的な技法として用いられている。振動信号のスペクトルを求めてみると、各異常原因に応じて特徴あるスペクトルが与えられるために、振動信号のスペクトルを見て異常の程度および原因を識別することができる。本発明は神経回路網のデータ分類機能を使用するために、この分野での専門家でない人間も診断結果を直ちに判るだけでなく、従来の専門家の判断に依存する方法における任意性および不均一性などの問題点を解決する。

【0035】本発明では回転機器の振動信号から求めた形状ベクトルが逆電波神経回路網の加重値を訓練させるために神経回路網140の入力として用いられる。学習は典型的な異常信号の形状ベクトルと期待値のベクトルの対を神経回路網の入力と出力とし、学習率と慣性率を設定して神経回路網を指導学習させることによりなされる。学習された神経回路網を利用して診断する時も先に計算した形状ベクトルを神経回路網の入力とする。こうすると、神経回路網は優れた非線形能力のために入力された形状ベクトルがいずれの部分の異常に属するかを見分けることができる。

【0036】本発明で使用された神経回路網は逆電波神経回路網または完全接続フィードフォワード神経回路網であり図5のような構造を有する。図5には本発明に適用される神経回路網の一例のみを示しているが、本発明ではロータ診断領域、ギア診断領域およびベアリング診

断領域のために訓練される3つの神経回路網が必要である。しかしながら、各神経回路網は図5に示したものと極めて類似するので他の例は示していない。本発明に適用される神経回路網は2つの隠匿層を有し、異常診断の種類に応じて他のノード数を持つ。低周波診断の場合、入力ノード数は4つであり、2つの隠匿層はそれぞれ6つのノードを持っている。そして、出力層のノードは4つであってそれぞれ正常、偏心、軸非整列、ハードウェア緩みを示すように構成された。必要に応じて隠匿層のノード数は変更させることができ、隠匿層の数もまた変えることができる。ベアリング領域に用いられる神経回路網は5つの入力ノード、6つの第1隠匿層および5つの第2隠匿層、2つの出力ノードを有する。本発明者が実験してみた結果、隠匿層が1つであっても性能面においては特に劣らないことが判った。

【0037】前述した過程を経て訓練された神経回路網の入力に被測定回転機器の振動信号から抽出した形状ベクトルを印加することにより回転機器の異常診断をすることができる。訓練過程は精密度に応じて異なるが、30分で20時間程度が必要である。ところが、認識する時には実時間処理が可能である。回転機器の異常診断に神経回路網を適用させた結果、3年程度訓練を受けた専門家水準の優れた診断が得られる。

【0038】

【発明の効果】以上で説明したように、本発明では各異常原因から現れる信号のスペクトル上の特徴を極大化させる方法であって形状ベクトルを抽出しこれを利用して神経回路網の加重値を訓練させる。また、診断しようとする回転機器の未知の振動信号から同様の方法で形状ベクトルを作ってそれを訓練された神経回路網に入力すれば神経回路網の形状（データ）分類能力によって故障および異常振動の原因が判別される。したがって、専門家

の下す判断が神経回路網に代置されるので、専門家でない人間も容易に異常の有無および故障の原因が分かり、また専門家も神経回路網の結果を判断の根拠とし得る長所がある。それに、本発明は機器の補修管理において正確性と一貫性を持たせるようにする。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による回転機器の異常有無診断装置の概略的なブロック図である。

【図2】本発明による回転機器の異常有無診断方法を説明するためのフローチャートである。

【図3】回転機器が正常の時のパワースペクトル図である。

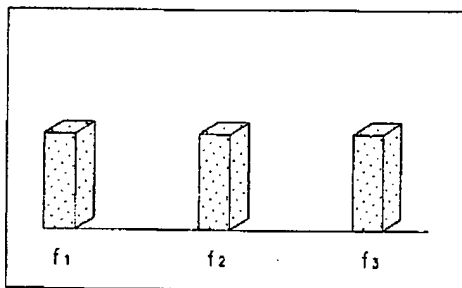
【図4】回転機器に異常のある時のパワースペクトル図である。

【図5】本発明に適用される神経回路網の構造を概略的に示した図である。

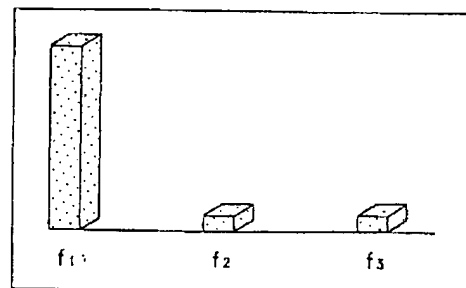
【符号の説明】

- 10 前置増幅器
- 20 高域通過フィルタ
- 30 積分器
- 40 低域通過フィルタ
- 50 帯域通過フィルタ
- 60 利得部
- 70 絶対値処理部
- 80 エンベロープ処理部
- 90 A/D変換器
- 100 スペクトル生成部
- 110 形状ベクトル抽出部
- 120 振動信号処理部
- 130 ベクトル抽出部
- 140 神経回路網処理部

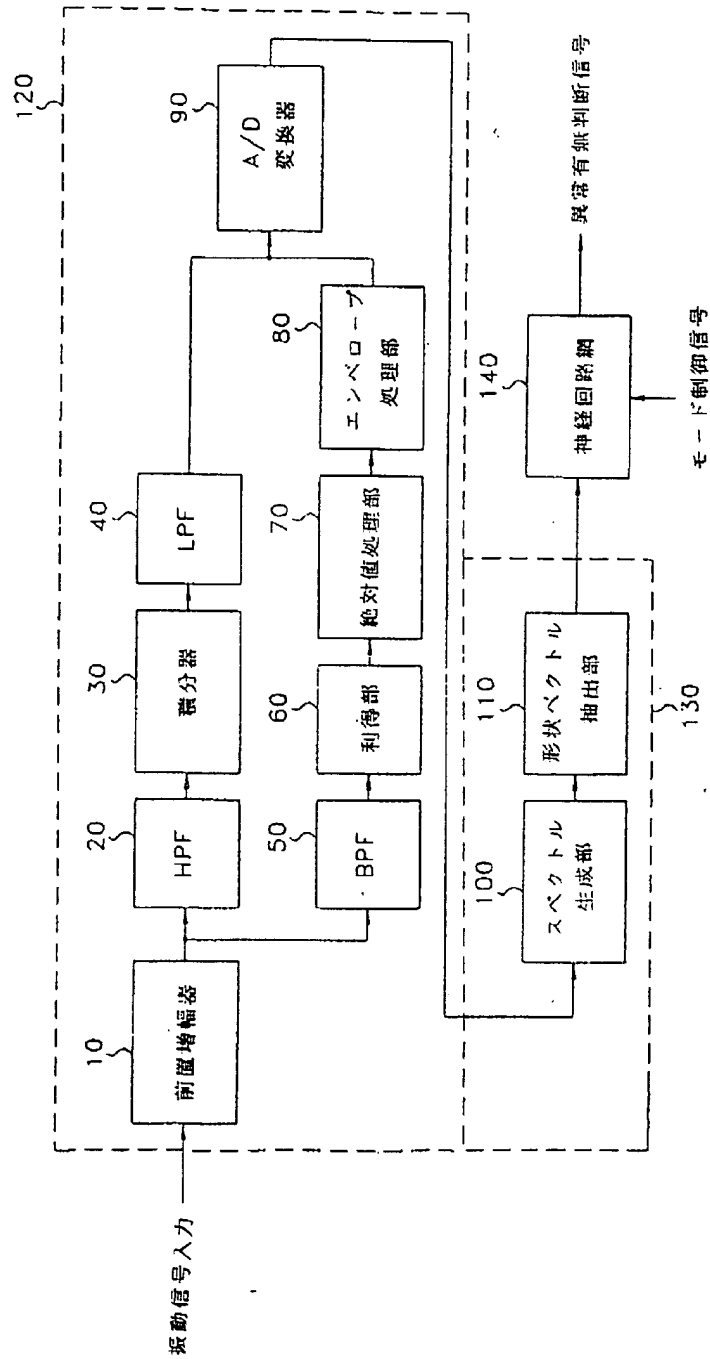
【図3】



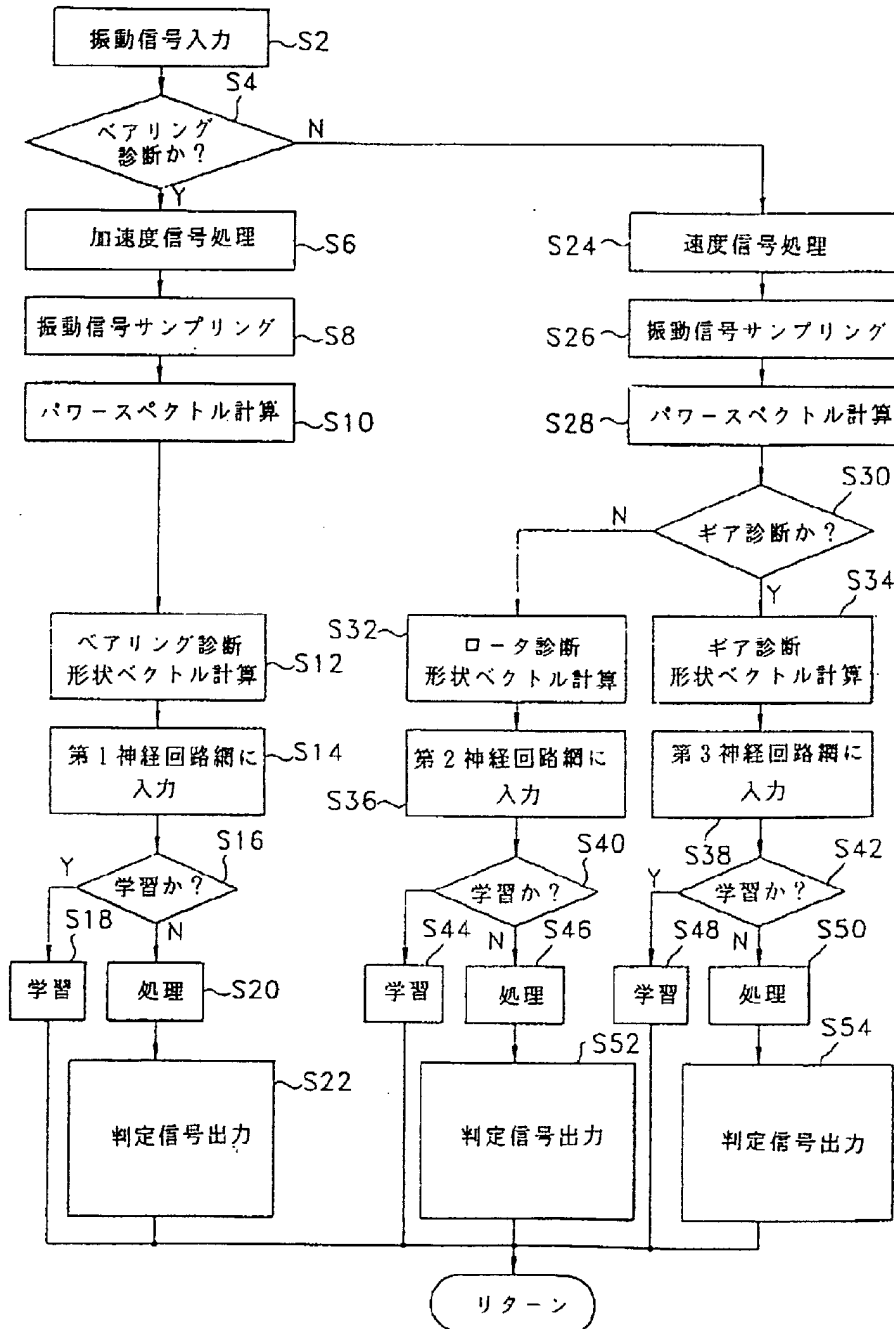
【図4】



【図1】



【図2】



【図5】

